

DISEÑAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO A UNA REBOBINADORAS DE PAPEL
DE LA COMPAÑÍA PAPELES NACIONALES S.A. BAJO LOS LINEAMIENTOS DE
MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO

CHRISTIAN DAVID VALLEJO GIRALDO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA

2016

DISEÑAR UN PLAN DE MANTENIMIENTO A UNA REBOBINADORA DE PAPEL
DE LA COMPAÑÍA PAPELES NACIONALES S.A. BAJO LOS LINEAMIENTOS DE
MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO

CHRISTIAN DAVID VALLEJO GIRALDO

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

DIRECTOR

JOHN ALEJANDRO GARCIA GRANADA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA

2016

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Pereira 15 de Noviembre de 2016

DEDICATORIA

A DIOS por acompañarme en cada instante difícil durante esta carrera, por iluminar el camino a tomar en cada una de mis decisiones, por ser mi guía y mi alivio en cada dificultad.

A mis padres por la confianza brindada, por ser un gran apoyo durante toda mi carrera a nivel económico, pero sobre todo por el apoyo moral y espiritual durante toda mi vida, por ser mis más grandes consejeros y por su gran paciencia.

A mi esposa y mi hija quienes son el gran motor de mi vida, por su compañía y apoyo, por su tolerancia y comprensión en cada uno de los momentos donde no les pude dedicar el tiempo que merecen, por los momentos difíciles debidos al cansancio físico y mental, por estar empujando y apoyando cada uno de mis pasos.

AGRADECIMIENTOS

A cada uno de los ingenieros con los que tuve la oportunidad de toparme durante este ciclo de mi vida, por todos aquellos que se preocuparon por transferir sus conocimientos técnicos, pero sobre todo aquellos que se preocuparon por la parte humana.

Al Msc John Alejandro García director del trabajo de grado por el tiempo dedicado a la realización del presente y por su apoyo en cada una de las dificultades presentadas.

A la empresa Papeles Nacionales S.A. por permitirme realizar esta labor y permitirme finalizar mi carrera trabajando en la misma.

A cada uno de los ingenieros del área de Ingeniería y Proyectos de Papeles Nacionales S.A. por brindarme su experiencia y conocimiento.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. JUSTIFICACIÓN	2
2. OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GENERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
3. FUNDAMENTOS.	4
3.1 OBJETIVO	4
3.2 INTRODUCCIÓN.....	4
3.3 DESARROLLO.	4
3.3.1 Mantenimiento.	5
3.3.2 Mantenimiento correctivo..	5
3.3.3 Mantenimiento preventivo.	5
3.3.4 Mantenimiento predictivo.	6
3.3.5 Evolución del mantenimiento.....	7
3.3.6 CMD (CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD).....	8
3.3.7 Disponibilidad.....	8
3.3.7.1 Disponibilidad generica.....	8
3.3.7.2 Disponibilidad inherente.....	9
3.3.7.3 Disponibilidad alcanzada.....	10
3.3.7.4 Disponibilidad operacional.....	10
3.3.8 Descripción Rebobinadora.....	11
3.3.8.1 Desenrollado..	13
3.3.8.2 Gofraencola.....	13
3.3.8.3 Rebobinadora.....	14
3.3.8.4 Encoladora.....	14
3.3.8.5 Acumulador.....	14
3.3.8.6 Cortadora.....	15
3.3.8.7 Tubera..	15

3.4	CONCLUSIONES.....	15
4.	JERARQUÍA REBOBINADORA.....	16
4.1	OBJETIVO.....	16
4.2.	INTRODUCCIÓN	16
4.3	DESARROLLO.....	16
4.3.1	Jerarquía Rebobinadora de papel..	17
4.4	CONCLUSIONES.....	22
5.	EQUIPOS CRITICOS.....	23
5.1	OBJETIVO	23
5.2	INTRODUCCIÓN.....	23
5.3	DESARROLLO.....	23
5.3.1	Análisi de criticidad.....	24
5.4	CONCLUSIONES.....	31
6	ACCIONES A REALIZAR	32
6.1	OBJETIVO	32
6.2	INTRODUCCIÓN.....	32
6.3	DESARROLLO.....	32
6.3.1	Tareas de mantenimiento preventivo..	33
6.3.2	Diagrama de decisión RCM	37
6.3.3	Hoja de decisión.....	38
6.3.4	Ruta de inspección..	40
6.4	CONCLUSIONES.....	41
7	CONCLUSIONES GENERALES	42
	BIBLIOGRAFÍA	43

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-Evolución histórica	7
Ilustración 2-Rebobinadora de papel	12
Ilustración 3- Tiempos Perdidos y Disponibilidad Rebobinadora	25
Ilustración 4- Pareto Sistema Gofraencola.....	30
Ilustración 5-Fallas Ocurrentes y Pareto.	30
Ilustración 6-Ruta de Vibraciones.....	36
Ilustración 7- Diagrama De Decisión RCM.....	37
Ilustración 8-Diagrama de Decisión RCM.....	38
Ilustración 9-Rutas de Inspección	41

LISTA DE TABLAS

Tabla 1- Desenrollador Externo	17
Tabla 2-Desenrollador intermedio	18
Tabla 3-Desenrollador Interno	18
Tabla 4-Gofraencola.....	19
Tabla 5-Rebobinadora.....	19
Tabla 6-Encoladora	20
Tabla 7-Acumulador	20
Tabla 8-Cortadora	21
Tabla 9-Tubera	21
Tabla 10-Tiempos perdidos Gofraencola.....	26
Tabla 11-Disponibilidad de los sistemas de la rebobinadora.....	27
Tabla 12-Identificación Fallas.....	28
Tabla 13-Fallas ocurrentes Gofraencola	29
Tabla 14-Tareas Mantenimiento Preventivo Mecánico.	33
Tabla 15-Tareas Mantenimiento Preventivo Electricidad.....	34
Tabla 16-Tareas Mantenimiento Preventivo Instrumentación	35
Tabla 17-Tareas Mantenimiento Preventivo Lubricación.....	36
Tabla 18-Hoja Decisión RCM Gofraencola.....	39
Tabla 19- Ruta de inspección equipos en movimiento	40

GLOSARIO

MANTENIMIENTO: Conjunto de acciones que permiten que una máquina o línea de producción ejecuten programa previsto de producción bajo unas condiciones de diseño.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO: Se define como la conservación planeada de fábrica y equipo.

MANTENIMIENTO PREDICTIVO: Conocimiento permanente de las máquinas mediante la medición periódica de variables.

RCM: Mantenimiento centrado en confiabilidad

DISPONIBILIDAD: Probabilidad de que un equipo pueda cumplir una función requerida, en las condiciones determinadas en un instante dado, suponiendo que el suministro de los medios externos necesarios está asegurado.

PMO: Optimización del mantenimiento planeado.

TISSUE: sustrato elaborado a partir de la celulosa y/o fibras secundarias, con características de suavidad, absorbencia, resistencia y flexibilidad, pudiendo tener acabado semicrepado o realzado o bien acabado liso, que es utilizado en el cuidado personal

ITEMS MANTENIBLES: las partes de los equipos sobre los cuales es necesario realizar acciones de mantenimiento.

GOFRADO: Acabado que se obtiene en la superficie del papel mediante un proceso mecánico que le confiere una apariencia y tacto rugoso, con sensación de acolchonamiento y suavidad. Favorece la absorción de agua.

ENCOLADO: Es la unión fija de dos o más piezas por medio de una sustancia que según sus características, se denomina pegamento o cola.

RESUMEN

El presente trabajo de grado se realizó con el propósito de diseñar un plan de mantenimiento a una Rebobinadora de Papel de la compañía Papeles Nacionales S.A, esto mediante la implementación de una jerarquía de esta, definiendo sistemas, subsistemas e ítems mantenibles. Posterior a esto se realizó un análisis de los tiempos perdidos y disponibilidad de los sistemas de la Rebobinadora y a partir de ahí se generó un diagrama de decisión mediante el cual se precisaron una serie de acciones de mantenimiento a realizar con el fin de mejorar la disponibilidad de máquina y de los métodos utilizados en el mantenimiento, relacionando el mantenimiento preventivo y predictivo con tácticas de mantenimiento modernas como son el análisis de disponibilidad y el PMO (Optimización del mantenimiento planeado).

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento está definido como una serie de acciones que permiten garantizar que una máquina, instalación o línea de producción puedan elaborar un trabajo previsto por un programa de producción bajo una serie de lineamientos para los que fue diseñada; en la actualidad la compañía Papeles Nacionales S.A. realiza estas labores a la Rebobinadora de Papel, aun así requiere una revisión y mejora en éste, debido a los tiempos perdidos y el crecimiento en el mercado que se está presentando en la actualidad.

Estudios realizados sobre gestión de activos evidencian que el mayor problema en el mantenimiento de las compañías maduras es que sus tareas no fueron diseñadas pensando en la gestión del ciclo de la vida, debido a esto existen tareas repetidas, se realizan tareas con demasiada repetitividad y otras muy distantes, se realizan tareas que no generan ningún beneficio para el activo, se realizan tareas como preventivas cuando deberían realizarse por condición generando así un círculo vicioso que ocasiona solicitar personal para suplir estas falencias cuando realmente lo que requiere es realizar una evaluación exhaustiva de su plan de mantenimiento y realizar una serie de mejoras sustanciales basadas en la necesidad de la compañía.

Con base en lo anterior y teniendo en cuenta la medición actual de los tiempos perdidos por actividades de mantenimiento, el presente trabajo pretende evaluar estas tareas y proponer una optimización de las mismas en el sistema más crítico de una de las líneas de producción más importantes como lo es una rebobinadora de papel higiénico. La propuesta pretende utilizar de forma más eficiente los recursos con los que actualmente se cuenta.

1. JUSTIFICACIÓN

La industria papelera colombiana en el 2013 logró abastecer el 63 % del consumo nacional y en promedio exporto el 16 % de la producción a diferentes países de centro y sur américa, para el 2014 aumentó el consumo de papel en un 6,5 %¹ en el país, generando cerca de 100.000 empleos directos y de acuerdo con la ANDI² la producción nacional de papel registra un comportamiento creciente, por lo que la industria debe tratar de sostener o mejorar la calidad de los productos y disminuir los precios para lograr una mayor competitividad a nivel nacional e internacional.³

De la misma forma en la que ha crecido la industria papelera en Colombia, a nivel mundial también lo ha hecho el mantenimiento de forma exponencial, las normas de calidad y la competitividad han obligado a las empresas a transformar sus departamentos de mantenimiento; estos cambios conllevan a las compañías a pasar de tener mantenimientos que comprenden reparaciones y cambios de piezas o máquinas completas, que en la industria papelera requiere de grandes inversiones, a aumentar la productividad de éstas mediante la aplicación de nuevas estrategias, donde se realice una revisión constante de los procesos y elementos que componen las líneas de producción que conlleven a conservar su eficiencia, productividad y sobre todo a comprender las oportunidades de mejora, todo esto como objetivo determinante para Papeles Nacionales S.A. al ser una empresa de nivel mundial.

¹ <http://www.elespectador.com/noticias/economia/consumo-de-papel-aumento-65-2014-informo-andi-articulo-562524>

² ANDI: Asociación nacional de empresarios de Colombia

³ <http://www.andi.com.co/SalPren/Documents/EN%20COLOMBIA%20LA%20INDUSTRIA%20PAPELERA%20G ENERA%20M%C3%81S%20DE%2080%20MIL%20EMPLEOS.pdf>

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un plan de mantenimiento a la Rebobinadora de papel de la compañía Papeles Nacionales s.a. realizando una definición de los conceptos básicos tanto de la máquina como de los términos técnicos para realizar este, diseñando una jerarquía de la máquina, definiendo sus equipos críticos mediante un análisis de disponibilidad y estableciendo una serie de acciones que conlleven a una mejora sustancial.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Definir los fundamentos básicos del mantenimiento y describir el proceso de funcionamiento de la rebobinadora.
- Diseñar una jerarquía de la rebobinadora de Papeles Nacionales S.A. que permita tener un conocimiento básico de sus sistemas, subsistemas, ítems mantenibles⁴ y componentes.
- Definición de los sistemas críticos de la rebobinadora.
- Establecer las rutas de inspección y tareas de mantenimiento a realizar con su respectiva frecuencia y periodicidad teniendo en cuenta las causas más comunes de falla.

⁴ Ítems mantenibles: Es entendido como las partes de los equipos sobre los cuales es necesario realizar acciones de mantenimiento.

3. FUNDAMENTOS.

3.1 OBJETIVO

Definir los fundamentos básicos del mantenimiento y describir el proceso de funcionamiento de la Rebobinadora de papel.

3.2 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo se refiere a las definiciones básicas y necesarias para el desarrollo del trabajo de grado presente en lo concerniente al mantenimiento preventivo y predictivo, al igual que dar a conocer las características que conllevan a que diferentes sistemas de la línea de producción a la creación del papel Tissue.⁵

3.3 DESARROLLO

Los conceptos brindados en este capítulo sirven de fundamentación para los análisis y cálculos desarrollados en los próximos capítulos.

⁵TISSUE: Es el sustrato elaborado a partir de la celulos y/o fibras secundarias, con características de suavidad, absorbencia, resistencia y flexibilidad, pudiendo tener acabado semicrepado o realzado o ben acabado liso, que es utilizado en el cuidado personal. (SECRETARIA DE ECONOMIA DE MEXICO, 2009)

3.3.1 Mantenimiento. Se puede definir como el conjunto de disposiciones técnicas, medios y actuaciones que permiten garantizar que las máquinas, instalaciones y organización de una línea de producción puedan desarrollar el trabajo que tienen previsto en un determinado plan de producción. (REY SACRISTÁN, 1996)

3.3.2 Mantenimiento correctivo. Este tipo de mantenimiento corresponde a la corrección de averías o fallas cuando estas se presentan, normalmente corresponde a la recuperación de la capacidad funcional de la maquina después de haber presentado una falla⁶ que implico detener una maquina o línea de producción.

Este tipo de mantenimiento es conveniente en equipos complejos en los que es imposible realizar una predicción de fallos, pero sobretodo presenta serias desventajas debido a que la falla se puede presentar en momentos de alta necesidad de producción o generar tiempos perdidos largos y daños irreparables en otros sistemas.

3.3.3 Mantenimiento preventivo. El mantenimiento preventivo puede ser definido como la conservación planeada de fábrica y equipo, producto de inspecciones, cambios de piezas, reparaciones o ajustes periódicos que descubren condiciones defectuosas. Su finalidad es reducir al mínimo las interrupciones y la depreciación excesiva. Debidamente dirigido el mantenimiento preventivo es un instrumento de reducción de costos que ahorra dinero a la empresa en conservación y operación. (NEWBROUGH.E.T, 1982)

⁶ Falla: Es la interrupción temporal o definitiva de un sistema.

El mantenimiento preventivo presenta una serie de ventajas sobre todo para el área de planeación puesto que al tener el conocimiento del elemento que se va a cambiar o a inspeccionar es posible estar preparados con antelación a la intervención del equipo, conservando así la disponibilidad de los equipos; pero a su vez puede presentar sobrecostos al realizar cambios de piezas innecesarios en los que se pueden presentar problemas de mortalidad infantil y costos elevados de mano de obra.

3.3.4 Mantenimiento predictivo. El mantenimiento predictivo consiste en el conocimiento permanente del estado de operatividad de los equipos, mediante la medición de determinadas variables. El estudio del cambio en estas determina la actuación o no del mantenimiento correctivo.

Los dos aspectos fundamentales a conocer son el funcionamiento de la maquina desde el punto de vista de producción y el estado de la maquina respecto a sus componentes. Conocer en detalle las variables del equipo permite ante una anomalía no sólo prever la avería sino cambiar el ritmo de trabajo para optimizar el proceso a las nuevas condiciones de trabajo.

Los parámetros a controlar pueden ser: presión, pérdidas de carga, caudales, consumos energéticos, caídas de temperatura, ruido, vibraciones, etc. Teniendo como ventajas visibles del mantenimiento predictivo el registro de históricos de falla, la programación del mantenimiento y la disminución de costos por cambios innecesarios.

3.3.5 Evolución del mantenimiento. Desde el inicio de los tiempos la necesidad de evolucionar para el ser humano estuvo latente en todos los aspectos de la vida, desde definir una serie de estrategias para su protección a factores como el medio ambiente o el inminente riesgo de los ataques de los depredadores, el instinto de conservación del ser humano lo fue llevando a la fabricación de elementos para su manutención y cuidado.

Con el pasar del tiempo se fueron mejorando estos instrumentos y se generaron nuevas herramientas para mejorar la calidad de vida del ser humano, llegando a tal punto de iniciar la construcción de viviendas e instrumentos que facilitaban la realización de cualquier tipo de necesidades que se pudieran presentar, pero a su vez fue surgiendo la necesidad de mantener estos y conservar su funcionalidad.

La siguiente ilustración presentada en el libro de mantenimiento del ingeniero Alberto Mora evidencia como con el paso de los años el mantenimiento se fortaleció a gran escala llegando de realizar simples correcciones a fallos imprevistos, a la administración del mantenimiento donde la gestión y operación de los activos prima teniendo en cuenta tanto las necesidades de la máquina como las de producción y los clientes mediante una serie de pronósticos y predicciones.

Ilustración 1-Evolución histórica

Etapa	sucede aproximadamente	Producción - Manufactura		Mantenimiento e Ingeniería de Fábricas	
		Orientación hacia	Necesidad específica	Orientación hacia	Objetivo que pretende
I	antes de 1950	el producto	generar el producto	hacer acciones correctivas	reparar fallos imprevistos
II	entre 1950 y 1959	la producción	estructurar un sistema productivo	aplicar acciones planeadas	prevenir, predecir y reparar fallos
III	entre 1960 y 1980	la productividad	optimizar la producción	establecer tácticas de mantenimiento	gestar y operar bajo un sistema organizado
IV	entre 1981 y 1995	la competitividad	mejorar índices mundiales	implementar una estrategia	medir costos, CMD, compararse, predecir índices, etc.
V	entre 1996 y 2003	la innovación tecnológica	hacer la producción ajustada a la demanda	desarrollar habilidades y competencias	aplicar ciencia y tecnología de punta
VI	desde 2004	Gestión y operación integral de activos en forma coordinada entre ambas dependencias Anticiparse a las necesidades de los equipos y de los clientes de mantenimientos - Predicciones - Pronósticos Gestión de activos			

(GUTIERREZ MORA, 2012)

3.3.6 CMD (CONFIABILIDAD⁷, MANTENIBILIDAD⁸ Y DISPONIBILIDAD). Es una herramienta o método que permite generar un modelo mediante el cual se puedan evaluar las capacidades de la producción y la interacción con las estrategias de mantenimiento, permitiendo tener la suficiente información que permitan maximizar la capacidad de producción y la eficiencia de la planta.

3.3.7 Disponibilidad. “La disponibilidad es una característica que resume cuantitativamente el perfil de funcionalidad de un elemento, es la probabilidad de que un equipo pueda cumplir una función requerida, en las condiciones determinadas en un instante dado, suponiendo que el suministro de los medios externos necesarios está asegurado”. (CÁRCEL CARRASCO, 2014).

3.3.7.1 Disponibilidad genérica. Esta sirve para organizaciones que no predican CMD, la información de la que se dispone solo contempla los tiempos útiles y los de no funcionalidad. Es muy adecuada para inicializar pruebas pilotos en las empresas, los parámetros que se usan son UT y DT.

Los MUT en la disponibilidad genérica solo contemplan los tiempos en los que el equipo funciona correctamente, como a su vez los MDT contemplan todo lo que genere no disponibilidad o no funcionalidad, los tiempos de paradas previstas o planeadas por mantenimiento deben descontarse del tiempo en el que puede operar.

$$Disponibilidad\ generica = A_G = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

⁷Confiabilidad: Es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo.

⁸ Mantenibilidad: Es la probabilidad de que un elemento, maquina o dispositivo pueda regresar a su estado normal después de una falla o interrupción productiva.

UT: Tiempos útiles.

DT: Tiempo en que la maquina ni funciona ni produce.

MUT: Tiempo medio de funcionamiento entre fallas.

MDT: Tiempo medio de indisponibilidad o no funcionamiento entre fallas.

(GUTIERREZ MORA, 2012)

3.3.7.2 Disponibilidad inherente. Es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente cuando se requiere en cualquier tiempo bajo las condiciones de operación específicas y en un entorno ideal de soporte logístico, es decir, con la disponibilidad adecuada de personal, repuestos, herramientas, equipos de prueba y demás, sin considerar ninguna demora logística o administrativa.

$$\text{Disponibilidad inherente} = A_I = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

MTBF: Tiempo medio entre fallas

MTTR: Tiempo medio para reparar

(GUTIERREZ MORA, 2012)

3.3.7.3 Disponibilidad alcanzada. Es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando se requiere en cualquier tiempo bajo condiciones de operaciones normales y en un entorno ideal de soporte logístico, sin considerar ningún retraso logístico o administrativo, pero involucran en sus cálculos, los tiempos imputables a las actividades planeadas de mantenimiento, a parte de las acciones correctivas que ya trae desde la inherente.

$$\text{Disponibilidad alcanzada} = A_A = \frac{MTBM}{MTBM + \bar{M}}$$

MTBM: Tiempo medio entre mantenimientos

\bar{M} : Tiempo medio de mantenimiento

(GUTIERREZ MORA, 2012)

3.3.7.4 Disponibilidad operacional. Es la probabilidad de que el sistema opere satisfactoriamente, cuando se requiere que funcione bien en cualquier tiempo bajo condiciones de operación normal, en un entorno real de soportes logísticos y abarca por lo tanto dentro de los tiempos de mantenimiento, los tiempos que se causan por retrasos logísticos y administrativos, es decir, todos los tiempos concernientes al estado de reparación e incluye el mantenimiento programado y no planeado.

$$\text{Disponibilidad operacional} = A_O = \frac{MTBM}{MTBM + \bar{M}'}$$

(GUTIERREZ MORA, 2012)

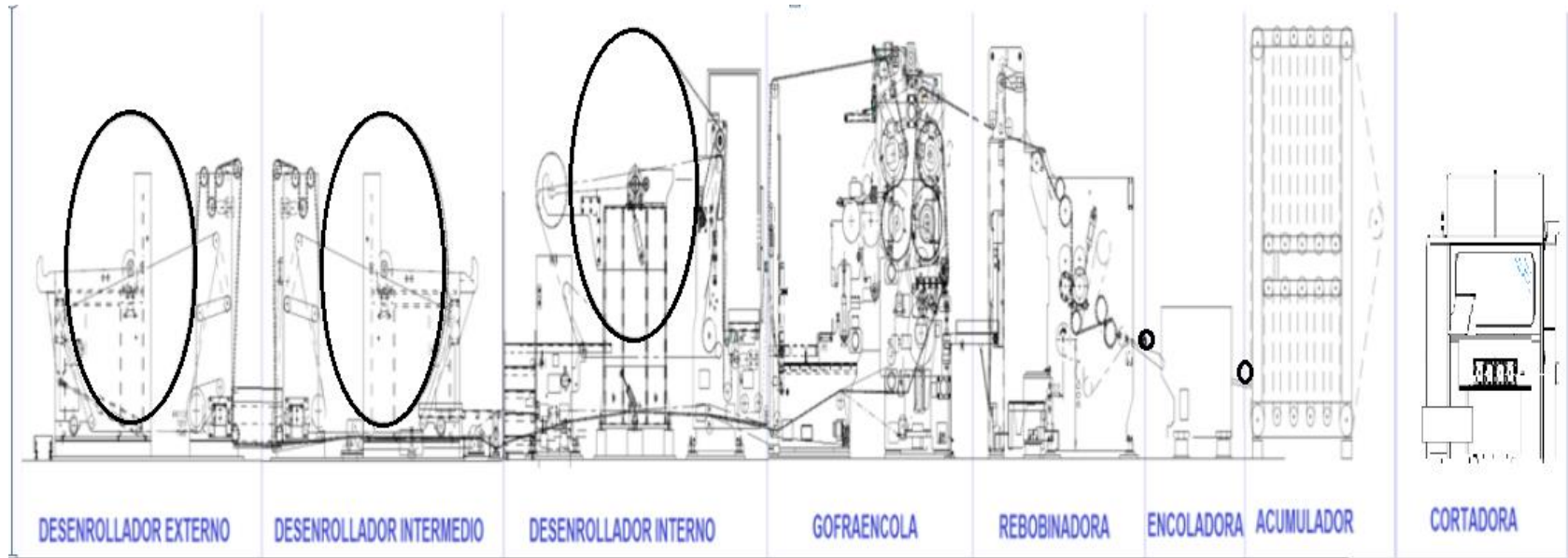
3.3.8 Descripción Rebobinadora. La línea está concebida para convertir bobinas de gran tamaño o semielaborado⁹ en un producto final como lo es el papel higiénico o la toalla de cocina de diferentes calidades y tamaños de acuerdo con las necesidades del cliente, esto mediante una serie de sistemas tales como:

- Tres desenrolladores
- Un sistema gofraencola
- Un sistema de rebobinado
- Un sistema encolador
- Un acumulador de logs
- Una cortadora
- Una tubera

En la ilustración 2 se presenta una vista lateral de la línea de producción de Papeles Nacionales S.A.

⁹ Semielaborado: Se le llama así al producto intermedio entre una materia prima y un productor terminado o bien de consumo.

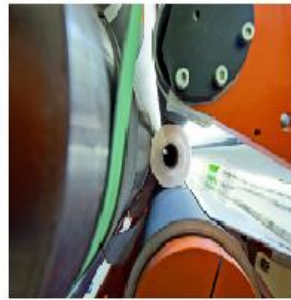
Ilustración 2-Línea Simplex



DESENROLLADO



GOFRADO



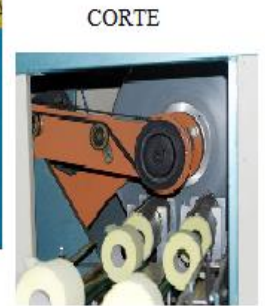
REBOBINADO



ENCOLADO



ACUMULADOR



CORTE

3.3.8.1 Desenrollado. Este sistema se encarga de desenrollar bobinas de semielaborado, compuesto por una serie de subsistemas tales como son el porta bobina encargado de sustentar la bobina mediante unos punzones, el sistema desenrollado de bobina el cual mediante una serie de poleas y bandas se encargan de generar la rotación en la bobina mientras que una serie de cilindros se encargan de generar la tensión necesaria para este efecto, también cuenta con un subsistema llamado tensión de papel el cual mediante una serie de rodillos fijos y un rodillo danzarín se encarga de dar la tensión para que el papel salga de este desenrollador, un subsistema de enhebrado encargado mediante una banda y una serie de poleas ubicadas estratégicamente para que la hoja de papel haga el recorrido adecuado en caso de romperse o ser necesario un cambio de bobina, al igual que un sistema eléctrico, neumático e hidráulico.

Esta línea cuenta con tres sistemas de desenrollado los cuales son usados de acuerdo a las especificaciones del producto ya sea de dos o tres hojas y a las necesidades del cliente.

3.3.8.2 Gofraencola. Esta unidad es utilizada principalmente para cumplir la función de gofrado¹⁰ y encolado¹¹ del papel que entra de los desenrolladores mediante dos estaciones de gofrado (superior e inferior) con una serie de rodillos de caucho y los de acero cuya superficie útil presenta diferentes grabados de acuerdo a la necesidad de producción, posterior a esto pasa por la estación de encolado donde se aplica el pegante adhesivo a las hojas de papel mediante un rodillo aplicador, después de esto se genera el proceso de unión de las hojas.

¹⁰ Gofrado: Acabado que se obtiene en la superficie del papel mediante un proceso mecánico que le confiere una apariencia y tacto rugoso, con sensación de acolchonamiento y suavidad. Favorece la absorción de agua.

¹¹ Encolado: Es la unión fija de dos o más piezas por medio de una sustancia que según sus características, se denomina pegamento o cola.

3.3.8.3 Rebobinadora. Este sistema se puede dividir en varias etapas, iniciando con una serie de rodillo guías y haladores encargados de dar la tensión necesaria al papel, continuando a un sistema de perforación que cuenta con un rodillo móvil y uno fijo con una serie de cuchillas lisas y dentadas que realizan los agujeros necesarios de acuerdo al producto continuando con la inserción de core¹² que es el sistema encargado de introducir el tubo de cartón de igual longitud pero con un diámetro de 45mm o de 52mm ya sea para higiénico o para toalla, el sistema de rebobinado donde mediante un rodillo rebobinador inferior y superior se le da el diámetro al rollo de papel higiénico de acuerdo a las características del producto y por último la transferencia donde por una diferencia de velocidades entre el rodillo rebobinador inferior y el rodillo jinetero se rompe el rollo y pasa a la encoladora.

3.3.8.4 Encoladora. Este sistema está diseñado para encolar el extremo final del papel, mediante un subsistema de posicionamiento de log donde este gira hasta que un sensor detecta la posición adecuada de este para que las bandas superiores e inferiores de succión sostengan este hasta que se le aplique el pegante ya luego dejando salir el log hacia el acumulador.

3.3.8.5 Acumulador. Este sistema es el encargado de acumular los rollos que ya están preparados para el corte contando con un sistema de carga y de descarga donde por medio de unos cangilones son llevados estos a la entrada de la cortadora.

¹² Core: Eje, centro o tubo de cartón en el que se rebobina el papel higiénico con dimensiones de 45 o 52 mm.

3.3.8.6 Cortadora. Es este sistema entra el log y es cortado mediante una cuchillas de acuerdo con unos parámetros establecidos que permitan obtener rollos individuales de acuerdo con las necesidades de producción y las solicitudes realizadas por los clientes, teniendo a parte un sistema de afilado que cuenta con esmeriles que afilan la cuchilla de acuerdo a un tiempo establecido en sus parámetros operacionales y a su vez este cuenta con un sistema de extracción de desperdicios del esmeril.

3.3.8.7 Tubera. Este sistema se encarga de la fabricación de los tubos de cartón que son el soporte de para los log de papel tissue para la rebobinadora mediante dos desenrolladores, un sistema de formado del tubo y posterior a este y para finalizar por un sistema de corte el cual a su vez se encarga de dar la longitud adecuada.

3.4 CONCLUSIONES

Fue posible observar los conceptos básicos requeridos para el presente trabajo de grado en lo correspondiente a la teoría del mantenimiento y a los conceptos básicos para el conocimiento de una línea rebobinadora o convertidora de papel mediante la descripción de los diferentes sistemas que contiene y de su flujo de proceso.

4. JERARQUÍA REBOBINADORA

4.1 OBJETIVO.

Diseñar una jerarquía de una de las rebobinadoras de Papeles Nacionales S.A. que permita tener un conocimiento básico de sus sistemas, subsistemas e ítems mantenibles.

4.2 INTRODUCCIÓN.

El presente capítulo se muestra la jerarquía de la línea definiendo el número de elementos o componentes de ésta en una serie de agrupaciones que tienen un trabajo preestablecido para cumplir con un propósito.

4.3 DESARROLLO.

Después de haber realizado una revisión física a la Rebobinadora de Papel y haber identificado sus elementos componentes es posible presentar la jerarquía concebida para el conocimiento de la línea. Yendo de lo macro a lo mínimo de tal forma que se pueda tener un conocimiento específico de esta y poder evidenciar las necesidades más fácilmente.

4.3.1 Jerarquía Rebobinadora de papel. Es de tener en cuenta que la rebobinadora es un todo para este trabajo de grado, a partir de esta se generan las divisiones necesarias de mayor a menor jerarquía o grado de detalle. De tal manera se presenta en las siguientes tablas cada uno de los sistemas, subsistemas e ítems mantenibles.

Tabla 1- Desenrollador Externo

EQUIPO/SISTEMA	DESENROLLADOR EXTERNO			
SUBSISTEMAS	FUNCIÓN	ITEMS MANTENIBLES		
PORTABOBINAS	Soportar el peso de las bobinas	Punzon lado operación	Punzon lado transmisión	Unidad hidráulica
RODILLOS GUÍAS	Guiar el paso del papel y mantener un correcto desenollado del mismo.	Rodillo desarrugador superior	Rodillo desarrugador inferior	
TENSIÓN DEL PAPEL	Ajustar la tensión del papel	Rodillo danzarin externo	Rodillo danzarin móvil	Rodillo danzarin interno
DESENROLLADO	Desenrollar bobinas de papel			
TRANSMISIÓN PRINCIPAL	Transmitir movimiento a los componentes de la maquina			
ESTRUCTURA	Sostener los componentes de la maquina			
ENHEBRADO	Arrastrar los velos de papel por medio de los rodillos necesarios			
SISTEMA DE CONTROL	Controlar los dispositivos para que actuen juntos y cumplan un objetivo.			
SISTEMA ELECTRICO	Entregar potencia y distribuirla.			
SISTEMA NEUMATICO	Generar energía la presión del aire mediante actuadores.			

Tabla 2-Desenrollador intermedio

EQUIPO/SISTEMA	DESENROLLADOR INTERMEDIO				
SUBSISTEMAS	FUNCIÓN	ITEMS MANTENIBLES			
PORTABOBINAS	Soportar el peso de las bobinas	Punzon lado operación	Punzon lado transmisión	Unidad hidráulica	
RODDILLOS GUÍAS	Guiar el paso del papel y mantener un correcto desenrollado del mismo.	Rodillo desarrugador superior	Rodillo desarrugador inferior	Rodillo guía pasarela	
TENSIÓN DEL PAPEL	Ajustar la tensión del papel	Rodillo danzarin externo	Rodillo danzarin movil	Rodillo danzarin interno	
DESENROLLADO	Desenrollaor bobinas de papel				
TRANSMISIÓN PRINCIPAL	Transmitir movimiento a los componentes de la maquina				
ESTRUCTURA	Sostener los componentes de la maquina				
ENHEBRADO	Arrastrar los velos de papel por medio de los rodillos necesarios				
SISTEMA DE CONTROL	Controlar los dispositivos para que actuen juntos y cumplan un objetivo.				
SISTEMA ELECTRICO	Entregar potencia y distribuirla.				
SISTEMA NEUMATICO	Generar energía la presion del aire mediante actuadores.				

Tabla 3-Desenrollador Interno

EQUIPO/SISTEMA	DESENROLLADOR EXTERNO				
SUBSISTEMAS	FUNCIÓN	ITEMS MANTENIBLES			
PORTABOBINAS	Soportar el peso de las bobinas	Punzon lado operación	Punzon lado transmisión	Unidad hidráulica	
RODDILLOS GUÍAS	Guiar el paso del papel y mantener un correcto desenrollado del mismo.	Rodillo desarrugador superior	Rodillo desarrugador inferior	Rodillo guía pasarela	
TENSIÓN DEL PAPEL	Ajustar la tensión del papel	Rodillo danzarin externo	Rodillo danzarin movil	Rodillo danzarin interno	
DESENROLLADO	Desenrollaor bobinas de papel				
TRANSMISIÓN PRINCIPAL	Transmitir movimiento a los componentes de la maquina				
ESTRUCTURA	Sostener los componentes de la maquina				
ENHEBRADO	Arrastrar los velos de papel por medio de los rodillos necesarios				
SISTEMA DE CONTROL	Controlar los dispositivos para que actuen juntos y cumplan un objetivo.				
SISTEMA ELECTRICO	Entregar potencia y distribuirla.				
SISTEMA NEUMATICO	Generar energía la presion del aire mediante actuadores.				

Tabla 4-Gofraencola

EQUIPO/SISTEMA	GOFRAENCOLA				
SUBSISTEMAS	FUNCIÓN	ITEMS MANTENIBLES			
RODILLOS GUÍAS	Guiar el paso del papel y mantener un correcto desenrollado del mismo.	Rodillo guía inferior	Rodillo guía superior		
ENCOLADO	Distribuir cola o pegamento a los velos de papel.	Rodillo Anilox	Rodillo Cliche	Alimentación de pegante	Contenedor de pegante
GOFRADOR SUPERIOR	Grabar velos de papel	Rodillo gofrador caucho	Rodillo gofrador acero		
GOFRADOR INFERIOR	Grabar velos de papel	Rodillo gofrador caucho	Rodillo gofrador acero		
PRENSOR	Unir los velos de papel.	Rodillo prensor			
TRANSMISIÓN	Transmitir movimiento a los componentes de la maquina				
UNIDAD HIDRAULICA	Genera presión y caudal hidraulico				
ENHEBRADO	Arrastrar los velos de papel por medio de los rodillos necesarios				
ESTRUCTURA	Sostener los componentes de la maquina				
SISTEMA CONTROL	Controlar los dispositivos para que actuen juntos y cumplan un objetivo.				
SISTEMA ELECTRICO	Entregar potencia y distribuirla.				
SISTEMA NEUMATICO	Generar energía la presión del aire mediante actuadores.				

Tabla 5-Rebobinadora

EQUIPO/SISTEMA	REBOBINADORA					
SUBSISTEMAS	FUNCIÓN	ITEMS MANTENIBLES				
TENSIÓN DEL PAPEL	Ajustar la tensión del papel	Rodillo danzarín externo	Rodillo danzarín móvil	Rodillo curvo	Rodillo arrastre inferior	Rodillo arrastre superior
PERFORACIÓN	Perforar la hoja de papel	Rodillo perforador móvil	Rodillo perforador fijo			
INSERCIÓN DE CORE	Entregar el tubo de cartón para rebobinar el papel.	Transportador de tubo	Entrega de tubo			
REBOBINADO	Rebobinar el papel del tamaño adecuado.	Rodillo rebobinador inferior	Rodillo rebobinador superior	Rodillo jineterillo		
TRANSMISIÓN	Transmitir movimiento a los componentes de la maquina					
ENHEBRADO	Arrastrar los velos de papel por medio de los rodillos necesarios					
RECHAZO DE LOG	Transporta el log en mal estado	Compuerta	Transportador			
APLICACIÓN DE FRAGANCIA	Aplicar fragancia al tubo de cartón.					
ESTRUCTURA	Sostener los componentes de la maquina					
SISTEMA CONTROL	Controlar los dispositivos para que actuen juntos y cumplan un objetivo.					
SISTEMA ELECTRICO	Entregar potencia y distribuirla.					
SISTEMA NEUMATICO	Generar energía la presión del aire mediante actuadores.					

Tabla 6-Encoladora

EQUIPO/SISTEMA	ENCOLADORA				
SUBSISTEMAS	FUNCIÓN	ITEMS MANTENIBLES			
POSICIÓN DE LOG	Posicionar el log para la aplicación de pegante	Mariposa entrada	Rodillo perforado	Rodillo de arrastre	Bandeja de salida
TRANSMISIÓN	Transmitir movimiento a los componentes de la maquina				
APLICACIÓN PEGANTE	Aplicar pegante a la cola del papel				
ESTRUCTURA	Sostener los componentes de la maquina				
SISTEMA DE SUCCIÓN	Succionar la cola del papel para aplicar el pegante	Bomba de vacio 1	Bomba Vacio 2		
SISTEMA CONTROL	Controlar los dispositivos para que actuen juntos y cumplan un objetivo.				
SISTEMA ELECTRICO	Entregar potencia y distribuirla.				
SISTEMA NEUMATICO	Generar energía la presion del aire mediante actuadores.				

Tabla 7-Acumulador

EQUIPO/SISTEMA	ACUMULADOR				
SUBSISTEMAS	FUNCIÓN	ITEMS MANTENIBLES			
CARGA	Cargar logs de papel que salen de la encoladora	Transmisión			
DESCARGA	Descargar logs de papel al transportador de salida	Transmisión			
ESTRUCTURA	Sostener los componentes de la maquina	Bastidor fijo	Estructura movil	Cangilones	
SISTEMA CONTROL	Controlar los dispositivos para que actuen juntos y cumplan un objetivo.				
SISTEMA ELECTRICO	Entregar potencia y distribuirla.				
SISTEMA NEUMATICO	Generar energía la presion del aire mediante actuadores.				

Tabla 8-Cortadora

EQUIPO/SISTEMA	CORTADORA				
SUBSISTEMA	FUNCIÓN	ITEMS MANTENIBLES			
CANAL DE CARGA	Cargar los logs hacia la cortadora	Torres alimentación			
ESTACIÓN DE CORTE	Cortar logs de papel y dar la altura requerida	Afilado	Corte		
CANAL DESCARGA	Transportar rollos de papel hacia el distribuidor	Rechazo desperdicio			
ASPIRADOR ESMERIL	Aspirar polvillo de esmeril	Motor	Bomba		
TRANSMISIÓN	Transmitir movimiento a los componentes de la maquina				
ESTRUCTURA	Sostener los componentes de la maquina				
SISTEMA CONTROL	Controlar los dispositivos para que actuen juntos y cumplan un objetivo.				
SISTEMA ELECTRICO	Entregar potencia y distribuirla.				
SISTEMA NEUMATICO	Generar energía la presion del aire mediante actuadores.				

Tabla 9-Tubera

EQUIPO/SISTEMA	TUBERA	
SUBSISTEMAS	FUNCIÓN	ITEMS MANTENIBLES
DESENGROLLADOR INTERNO	Desenrollador bobinas de papel	APLICACIÓN PEGANTE
DESENGROLLADOR EXTERNO	Desenrollador bobinas de papel	APLICACIÓN PEGANTE
CORTE	Cortar tubo de carton	
ELEVADOR DE TUBOS	Elevar tubos de carton hacia la tolva	
TOLVA DE TUBOS	Depositar tubos de carton	
TRANSMISIÓN	Transmitir movimiento a los componentes de la maquina	
ESTRUCTURA	Sostener los componentes de la maquina	
SISTEMA DE CONTROL	Controlar los dispositivos para que actuen juntos y cumplan un objetivo.	
SISTEMA ELECTRICO	Entregar potencia y distribuirla.	
SISTEMA NEUMATICO	Generar energía la presion del aire mediante actuadores.	

4.4 CONCLUSIONES

Se logró obtener la jerarquía de la línea mediante la revisión en planta de la máquina, identificando cada uno de los sistemas principales tales como los desenrolladores, gofraencola, rebobinadora, encoladora, acumulador, etc. Y ubicando de esta manera los subsistemas que conforman estos, como también sus ítems mantenibles.

Fue posible de esta manera dar un orden a la línea, identificarla de forma adecuada para obtener una ubicación específica cuando se pueda presentar algún evento de falla o direccionar adecuadamente los trabajos a realizar en la misma.

5. EQUIPOS CRITICOS

5.1 OBJETIVO

Definir los equipos críticos en la rebobinadora mediante un análisis de disponibilidad de los sistemas de la máquina.

5.2 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se muestra la metodología utilizada para definir la criticidad de los equipos dentro de la rebobinadora mediante el uso de los tiempos perdidos y de teorías sobre disponibilidad.

5.3 DESARROLLO

Es de tener en cuenta que la rebobinadora como línea de producción funciona en serie, en la cual si uno de sus sistemas principales falla el proceso no puede continuar con su producción, por lo que cada uno de estos se considera con un alto nivel de criticidad.

5.3.1 Análisis de criticidad: Elementos tales como la seguridad del personal y del medio ambiente, la calidad entre otros, necesarios para definir un nivel de criticidad no son tomados en cuenta para el estudio realizado de esta línea, debido a que únicamente los datos de fallos históricos serán analizados para definir el nivel de disponibilidad de estos sistemas y así poder mostrar los problemas que presenta la rebobinadora en la actualidad de la compañía e implementar una serie de tareas que conlleven a aumentar la producción de esta.

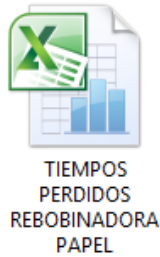
En efecto de lo anterior se dispone a realizar un procedimiento ya mencionado en el capítulo 1 donde se definieron los tipos de disponibilidad y teniendo en cuenta que los datos históricos relacionan únicamente paros de maquina concernientes directamente con las áreas de mantenimiento tales como los departamentos de electricidad, instrumentación y mecánica y no tienen en cuenta paros planeados se utilizara la disponibilidad inherente.

Por lo tanto los elementos tenidos en cuenta son los siguientes:

Pérdidas de producción: Los tiempos perdidos de la Rebobinadora de papel se relacionan en la Ilustración 3, para el desarrollo de este criterio se utilizan datos del sistema Gofraencola, el cual será el referente para el desarrollo los cálculos presentados a continuación.

Los tiempos perdidos y los cálculos para la disponibilidad de toda la Rebobinadora se pueden observar al oprimir Ctrl+ clic al archivo presente en la siguiente ilustración.

Ilustración 3- Tiempos Perdidos y Disponibilidad Rebobinadora



Ahora se presenta la ecuación utilizada para el cálculo de la disponibilidad en los sistemas de la Rebobinadora de Papel.

$$Disponibilidad\ inherente = A_I = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Para el cálculo de estos se utilizó la siguiente tabla sacada de los primeros 10 datos de tiempos perdidos del sistema Gofranencola en la ilustración 3.

Tabla 10-Tiempos perdidos Gofraencola

Nombre de parada	Nombre de grupo de parada	Hora inicio parada	Hora fin parada	Tiempo total trabajado	Tiempo parada en hh:mm:ss	TTR	TBF
Ejes (Bombas, reductores, carreta enrollador, etc) - LAM002005	MECANICO	01/09/2015 19:07	01/09/2015 19:07	8:00:30	0:00:14	0,004	
Ejes (Bombas, reductores, carreta enrollador, etc) - LAM002005	MECANICO	01/09/2015 21:07	01/09/2015 21:08	8:00:30	0:00:54	0,014	2,006
Elementos Rodantes (Rodamientos, caja de rodamientos, chumaceras,	MECANICO	02/09/2015 16:30	02/09/2015 16:33	8:00:04	0:03:00	0,049	19,360
Daño en encoder - LAM005012	ELECTRONICO	02/09/2015 17:16	02/09/2015 19:17	8:00:04	2:01:04	2,017	0,718
Elementos Rodantes (Rodamientos, caja de rodamientos, chumaceras,	MECANICO	02/09/2015 21:40	02/09/2015 21:47	8:00:04	0:06:28	0,108	2,389
Ejes (Bombas, reductores, carreta enrollador, etc) - LAM002005	MECANICO	02/09/2015 22:30	02/09/2015 22:35	7:59:52	0:05:24	0,089	0,720
Daño Elementos de control (Transmisor, tarjeta, Servomotor, etc) - LA	INSTRUMENTA CION	03/09/2015 8:17	03/09/2015 8:18	8:22:59	0:00:57	0,016	9,704
Falla de Comunicación Laminación - LAM005002	ELECTRONICO	03/09/2015 8:24	03/09/2015 8:35	8:22:59	0:10:51	0,181	0,101
Bloqueo en servo drive/Multidrive Laminación - LAM005007	ELECTRONICO	03/09/2015 20:47	03/09/2015 20:58	7:38:11	0:10:26	0,174	12,201
Bloqueo en servo drive/Multidrive Laminación - LAM005007	ELECTRONICO	03/09/2015 20:58	03/09/2015 21:13	7:38:11	0:15:39	0,260	0,000

Para el cálculo del TTR se realiza la diferencia entre la hora de fin de parada y la hora de inicio de parada.

Para el cálculo del TBF se realiza la diferencia entre el dato de inicio de parada de la segunda fila con la hora de fin de parada de la primera fila y así sucesivamente con todos los datos.

Posterior a esto se obtiene el promedio del TTR y el TBF obteniendo los siguientes datos

MTTR: 0,123

MTBF: 6,149

Ahora al reemplazar en la fórmula de disponibilidad genérica.

$$Disponibilidad\ inherente = A_I = \frac{6,149}{6,149 + 0,123} = 0,980$$

Al utilizar este mismo procedimiento con todos los sistemas se obtuvo la siguiente tabla de disponibilidad de la línea para cada uno de sus sistemas relacionada en la ilustración 3.

Tabla 11-Disponibilidad de los sistemas de la rebobinadora.

SISTEMA	DISPONIBILIDAD
DESENCOLLADORES	99,630%
GOFRAENCOLA	98,037%
REBOBINADORA	98,311%
ENCOLADORA	99,848%
ACUMULADOR	99,832%
CORTADORA	99,029%
TUBERA	99,638%

Del sistema de tiempos perdidos utilizado en la Rebobinadora de papel es posible identificar las diferentes fallas que se presentan en los sistemas de esta, por lo que se representaran en la Tabla 12.

Tabla 12-Identificación Fallas

ID FALLA	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA
FALLA 1	Accesorios neumaticos dañados (mangueras, racores, reguladores, manómetros, etc)
FALLA 2	Ajuste de corte (Calibración de esmeriles)
FALLA 3	Alta temperatura/suciedad en equipos de refrigeración
FALLA 4	Bloque de CPU/HMI/PLC
FALLA 5	Bloque de pantallas de operación
FALLA 6	Bloque en PLC/Modulos de entrada y salida
FALLA 7	Bloqueo en servo drive/Multidrive
FALLA 8	Cambio de disco de corte (cuchilla)
FALLA 9	Cilindros hidraulicos/Neumaticos
FALLA 10	Daño contactor o rele
FALLA 11	Daño elementos de control (Transmisor, tarjeta, servomotor, etc)
FALLA 12	Daño en controlador de proceso /correctores de lamina
FALLA 13	Daño en encoder
FALLA 14	Daño en sensor induc/fotoelec/RTD/Trans presión/Potenciómetro
FALLA 15	Daño freno
FALLA 16	Daño motor o ventilador
FALLA 17	Daño polipasto
FALLA 18	Daño pulsador o selector
FALLA 19	Disparo termico o guarda motor
FALLA 20	Ejes (Bombas, reductores, carreta enrollador,etc)
FALLA 21	Elementos de fijación (tornillos, abrazaderas, mordazas, bronces, etc)
FALLA 22	Elementos rodantes (Rodamientos, caja de rodamientos, chumaceras, cojinetes deslizante, bocinas, etc))
FALLA 23	Electroválvula hidráulica o neumática con daño
FALLA 24	Falla de comunicación
FALLA 25	Instrumentista no disponible
FALLA 26	Sistema de lubricación automático fuera de servicio

De la tabla 11 se define que el sistema con menor disponibilidad es el Gofraencola por lo que se recurre a describir las causas más ocurrentes en este, que ocasionan los mayores tiempos perdidos y a su vez los cálculos necesarios para la generación de un diagrama de Pareto.

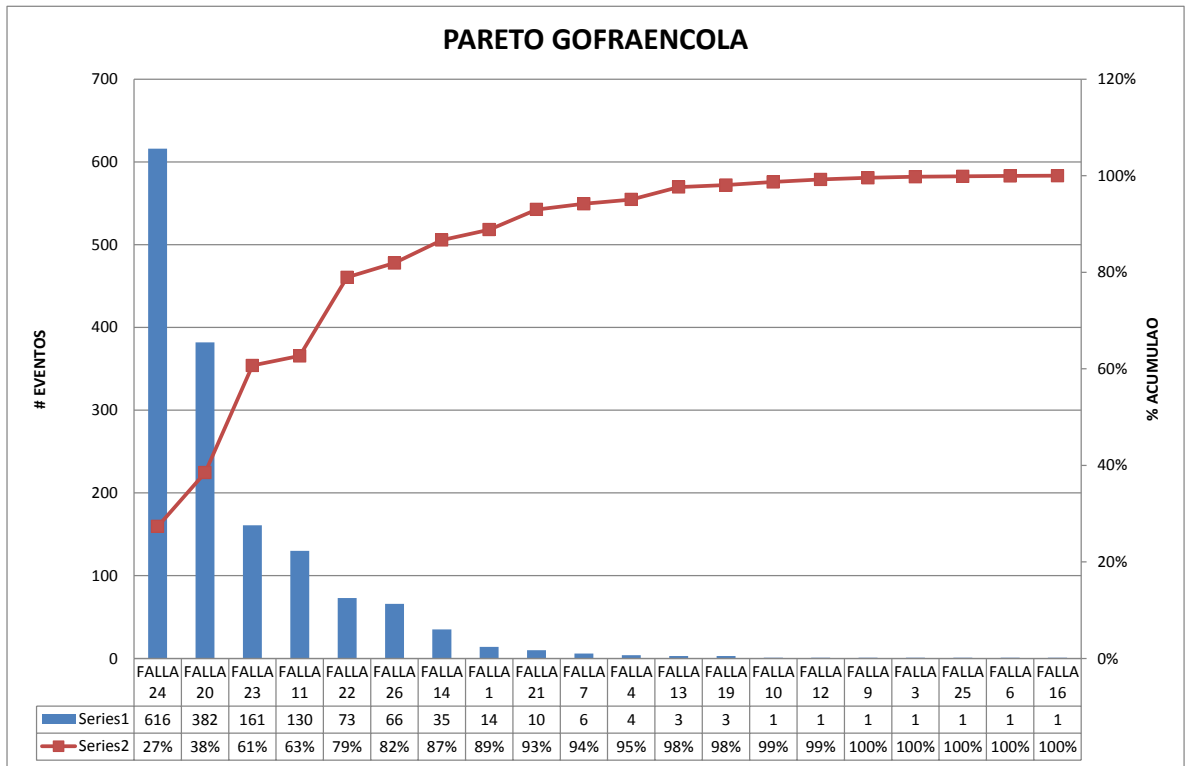
Ahora se mostrara el número de eventos presentados para cada una de las fallas y los cálculos necesarios para la construcción de un diagrama de Pareto.

Tabla 13-Fallas ocurrientes Gofraencola

ID FALLA	DESCRIPCIÓN DE LA FALLA	EVENTOS	PROMEDIO TTR	TOTAL TTR	% PORCENTAJE	% ACUMULADO
FALLA 24	Falla de Comunicación Laminación - LAM005002	616	0,083	50,825	27%	27%
FALLA 20	Ejes (Bombas, reductores, carreta enrollador, etc) - LAM002005	382	0,054	20,726	11%	38%
FALLA 23	Electroválvula hidráulica o neumática con daño Laminación - LAM004011	161	0,256	41,227	22%	61%
FALLA 11	Daño Elementos de control (Transmisor, tarjeta, Servomotor, etc) - LAM004001	130	0,029	3,711	2%	63%
FALLA 22	Elementos Rodantes (Rodamientos, caja de rodamientos, chumaceras, cojinetes deslizantes, bocinas, et - LAM002001	73	0,414	30,222	16%	79%
FALLA 26	Sistema de lubricación automático fuera de servicio Laminación - LAM004014	66	0,084	5,552	3%	82%
FALLA 14	Daño en sensor induc/fotoelec/RTD/Trans presión/Potenciometro Laminación - LAM004010	35	0,252	8,817	5%	87%
FALLA 1	Accesorios neumat dañados (mangueras, racores, regula, manómetros, etc) Laminación - LAM004008	14	0,287	4,014	2%	89%
FALLA 21	Elementos de fijacion (tornillos, abrazaderas, mordazas, bronce,etc) - LAM002012	10	0,777	7,766	4%	93%
FALLA 7	Bloqueo en servo drive/Multidrive Laminación - LAM005007	6	0,365	2,189	1%	94%
FALLA 4	Bloqueo de CPU/HMI/PLC Laminación - LAM005011	4	0,409	1,637	1%	95%
FALLA 13	Daño en encoder - LAM005012	3	1,606	4,819	3%	98%
FALLA 19	Disparo térmico o guardamotor Laminación - LAM003015	3	0,257	0,771	0%	98%
FALLA 10	Daño contactor o rele Laminación - LAM003013	1	1,201	1,201	1%	99%
FALLA 12	Daño en controlador de proceso/corectores de lamina Laminación - LAM004013	1	0,954	0,954	1%	99%
FALLA 9	Cilindros hidraulicos / Neumaticos - LAM002017	1	0,646	0,646	0%	100%
FALLA 3	Alta temperatura/Suciedad en equipos de refrigeración Laminación - LAM005006	1	0,367	0,367	0%	100%
FALLA 25	Instrumentista no Disponible - LAM004098	1	0,169	0,169	0%	100%
FALLA 6	Bloqueo en PLC/Modulos de entrada y salida Laminación - LAM005003	1	0,163	0,163	0%	100%
FALLA 16	Daño motor o ventilador Laminación - LAM003010	1	0,093	0,093	0%	100%
			TOTAL TTR	185,869		

De los datos reportados en la Tabla 13 es posible realizar la construcción del Pareto de las fallas ocurrientes y de esta forma mostrar los problemas más relevantes en el sistema Gofraencola de la Rebobinadora de papel.

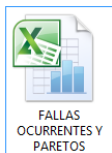
Ilustración 4- Pareto Sistema Gofraencola



El grafico anterior muestra el comportamiento del sistema Gofraencola de la rebobinadora de Papel de la compañía Papeles Nacionales S.A. Mostrando el número de eventos por falla y el porcentaje acumulado de acuerdo a las fallas.

Las fallas ocurrentes de los otros sistemas y los paretos de los mismos se encuentran relacionados en la siguiente ilustración donde al oprimir Ctrl + clic se pueden observar estos datos.

Ilustración 5-Fallas Ocurrentes y Pareto.



5.4 CONCLUSIONES

Mediante el uso del análisis de disponibilidad fue posible identificar los niveles de esta en los sistemas de la máquina, mencionar las fallas ocurrientes y sobre todo poder observar los problemas que están afectando la rebobinadora de papel durante el último año, para así poder realizar tareas de inspección, mantenimiento preventivo, predictivo o de reacondicionamiento.

Se hace necesario aumentar las tareas de mantenimiento preventivo sobre todo en el área relacionada con instrumentación evidenciado en el Pareto del sistema Gofraencola mostrado, ya que la mayor parte de eventos y de tiempos perdidos durante el último año se han presentado en esta área, pero aun así se hace indispensable realizar esta misma labor en el área de mecánica pues con un numero de fallas menos también está comprometida con un alto porcentaje de tiempo perdido en el año analizado.

6 ACCIONES A REALIZAR

6.1 OBJETIVO

Establecer las rutas de inspección y tareas de mantenimiento a realizar con su respectiva frecuencia y periodicidad

6.2 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se presentaran las diferentes acciones o medidas a tomar para aumentar la disponibilidad en el sistema más crítico de la Rebobinadora de papel y en general rutinas de inspección y las rutinas por condición tales como análisis de vibraciones.

6.3 DESARROLLO

A partir de la evidencia relacionada en el capítulo 5 donde los cálculos de disponibilidad en los sistemas permiten definir el equipo con menor disponibilidad se procede a realizar la revisión de las tareas de mantenimiento ejecutadas en la actualidad para cada uno de los subsistemas y especialmente en el sistema Gofraencola.

6.3.1 Tareas de mantenimiento preventivo. A continuación se presentaran las tareas de mantenimiento preventivo que se realizan en la rebobinadora de papel con su respectiva frecuencia en horas.

Tabla 14-Tareas Mantenimiento Preventivo Mecánico.

NOMBRE DE LA TAREA	FRECUENCIA
<u>TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO MECÁNICA</u>	
<u>ÁREA GENERAL LÍNEA QUANTUM</u>	
REV ESTADO Y CONDICION DE CORREAS TRANSMISIÁN DE MÁQUINA	1440 HORAS
<u>DESENROLLADOR EXTERNO</u>	
REV Y AJUSTE PUNZON LO Y LT	1440 HORAS
<u>DESENROLLADOR INTERMEDIO</u>	
REV Y AJUSTE PUNZON LO Y LT	1440 HORAS
<u>DESENROLLADOR INTERNO</u>	
REV Y AJUSTE PUNZON LO Y LT	1440 HORAS
<u>REBOBINADORA</u>	
LIMPIEZA INTERNA BOMBAS DE VACIO	1440 HORAS
MTTO MECANICO A SISTEMA INSERCIÓN DE TUBO	1440 HORAS
<u>ACUMULADOR</u>	
MTTO SISTEMA DE DESCARGA	1440 HORAS
<u>CORTADORA</u>	
REVISION ESTADO Y CONDICION CORREAS TRANSMISION	1440 HORAS
REVISION JUEGO CADENA TRANSPORTE CARGA LOG	1440 HORAS
CAMBIO DE ESMERILES	1440 HORAS
SUAVIZAR SISTEMA DESPLAZAMIENTO ESMERIL	1440 HORAS
REVISION DESGASTE PASTILLAS FRENOS NEUMATICOS	1440 HORAS
REVISION FILTRO AIRE SISTEMA NEUMATICO	1440 HORAS
<u>TUBERA</u>	
REV ESTADO Y CONDICION DE CORREAS TRANSMISION DE MAQUINA	1440 HORAS

Tabla 15-Tareas Mantenimiento Preventivo Electricidad

NOMBRE DE LA TAREA	FRECUENCIA
<u>TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO ELECTRICIDAD</u>	
<u>ÁREA GENERAL LÍNEA QUANTUM</u>	
LIMPIEZA DE UPS TABLERO ELECTRICO PRINCIPAL	1440 HORAS
ASPIRAR PARTE SUPERIOR DE TABLERO TABLERO ELECTRICO PRINCIPAL	1440 HORAS
LIMP MOTORES, PANELES, CAJAS DE CONEX	1440 HORAS
ASPIRAR TABLERO REB/COR Y PANEL OPERACI	1440 HORAS
MANTENIMIENTO A AIRESACONDICIONADOS	1440 HORAS
<u>DESENROLLADOR EXTERNO</u>	
ASPIRAR PANEL DE CONTROL	1440 HORAS
<u>DESENROLLADOR INTERMEDIO</u>	
ASPIRAR PANEL DE CONTROL	1440 HORAS
<u>DESENROLLADOR INTERNO</u>	
ASPIRAR PANEL DE CONTROL	1440 HORAS
<u>GOFRAENCOLA</u>	
ASPIRAR PANEL CONTROL	1440 HORAS
<u>REBOBINADORA</u>	
REV Y LIMP DE CONTACTOS AUX DE SERVODRIVE	1440 HORAS
REV CABLES Y AJUST BORNAS Y CONTACTORES DE POTENCIA	1440 HORAS
ASPIRAR PANEL CONTROL	1440 HORAS
<u>ENCOLADORA</u>	
REV BORNERAS CAPERUZABOMBAS DE VACIO	1440 HORAS
ASPIRAR PANEL CONTROL	1440 HORAS
<u>ACUMULADOR</u>	
CALIBR FRENOS ACUMULADOR CARGUE Y DESCA	1440 HORAS
<u>CORTADORA</u>	
INSPECCION Y LIMPIEZAFILTROS TABLEROS	1440 HORAS
AJUSTE BORNAS Y LIM ACONTACTORES POTEN	1440 HORAS
LIMPIEZA A MOTOR SISTVACIO	1440 HORAS
<u>TUBERA</u>	
AJUST BORNAS, MANTENIMIENTO CONTACTORES	1440 HORAS
ASPIRAR TABLERO	1440 HORAS

Tabla 16-Tareas Mantenimiento Preventivo Instrumentación

NOMBRE DE LA TAREA	FRECUENCIA
<u>TAREAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO INSTRUMENTACIÓN</u>	
<u>ÁREA GENERAL LÍNEA QUANTUM</u>	
LIMP INTERNA PANTALLAS OP REB/ENCO/CORT	1440 HORAS
<u>DESENROLLADOR EXTERNO</u>	
MTTO BLOQUE DE ELECTROVALVAULAS	1440 HORAS
CORRECCION FUGAS Y REVCONECTORES SENSOR	1440 HORAS
REV SIST HIDRAULICO(CONECTORES EVS, MAN	1440 HORAS
REV SIST CONTROL TENSION HOJAS	1440 HORAS
<u>DESENROLLADOR INTERMEDIO</u>	
MTTO BLOQUE DE ELECTROVALVAULAS	1440 HORAS
CORRECCION FUGAS Y REVCONECTORES SENSOR	1440 HORAS
REV SIST HIDRAULICO(CONECTORES EVS, MAN	1440 HORAS
REV SIST CONTROL TENSION HOJAS	1440 HORAS
<u>DESENROLLADOR INTERNO</u>	
MTTO BLOQUE DE ELECTROVALVAULAS	1440 HORAS
CORRECCION FUGAS Y REVCONECTORES SENSOR	1440 HORAS
REV SIST HIDRAULICO(CONECTORES EVS, MAN	1440 HORAS
REV SIST CONTROL TENSION HOJAS	1440 HORAS
<u>GOFRAENCOLA</u>	
MTTO EV UNIDAD LAMINAC LADO TRANSMISION	1440 HORAS
MTTO EV UNIDAD LAMINAC LADO SERVICIO	1440 HORAS
<u>REBOBINADORA</u>	
LIMPIEZA BOQUILLA APLICACIÓN PEGANTE TRANSFERENCIA	1440 HORAS
LIMP BOQUILLA APLICACION FRAGANCIA	1440 HORAS
MTTO ELECTROVALVULAS PERFORACION Y ELECTROVALVULAS RODILLO	1440 HORAS
MTTO VALV ALTO VACIO LADO SERVICIO Y LADO TRANSMISIÓN	1440 HORAS
REVISIÓN Y AJUSTE SENSORES+CABLES SIST PEG CALIE	1440 HORAS
MTTO A ELECTROVALVULAS PACKMAN	1440 HORAS
LIMP JB'S/PANELES ELECTRICO Y NEUMATICO	1440 HORAS
<u>ENCOLADORA</u>	
MTTO ELECTROVALVULAS DESCOLADORA -SOPLOS Y BAJO VAC	1440 HORAS
<u>ACUMULADOR</u>	
CORRECCION FUGAS Y REVCONECTORES SENSOR	1440 HORAS
<u>CORTADORA</u>	
REVISION SISTEMA NEUMATICO LUBRICACIÓN CUCHILLA	1440 HORAS
LIMPIEZA INTERNA PANTALLA CORTADORA	1440 HORAS
LIMPIEZA A TABLERO NEUMATICO	1440 HORAS
CORRECCION FUGAS Y REVISIÓN CONECTORES SENSORES	1440 HORAS
<u>TUBERA</u>	
CORREC FUGAS AIRE,CAMBIO MANGUERAS EN MAL ESTADO	1440 HORAS
LIMPIEZA DRIVES, PLC,PANEL VIEW, SERVOS	1440 HORAS

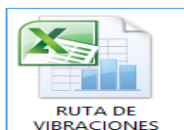
Tabla 17-Tareas Mantenimiento Preventivo Lubricación

NOMBRE DE LA TAREA	FRECUENCIA
<u>TRABAJOS LUBRICACION</u>	
<u>ÁREA GENERAL LÍNEA QUANTUM</u>	
COMPLETAR NIVELES ACEITE VASOS LUBRICAC	1440 HORAS
REVISAR NIVELES ACEITE REDUCTORES TRANSPORTADORES	1440 HORAS
LUBRICAR CHUMACERAS Y PUNZONES DESENROL	1440 HORAS
<u>GOFRAENCOLA</u>	
LUBRICAR RODILLOS GOFRADORES Y LAMINACION	1440 HORAS
<u>REBOBINADORA</u>	
LUBRICAR RODAMIENTOS REBOBINADORA	1440 HORAS
LUBRICAR RODAMIENTOS PACKMAN	1440 HORAS
<u>ACUMULADOR</u>	
LUBRICAR RODAMIENTOS ACUMULADOR	1440 HORAS
<u>CORTADORA</u>	
LUBRICACIÓN GENERAL CORTADORA	1440 HORAS
<u>TUBERA</u>	
LUBRICACION GENERAL	1440 HORAS

Las tareas de mantenimiento preventivas realizadas actualmente en la Rebobinadora de papel se ejecutan cada 1440 horas o dos meses, esto debido al cronograma de mantenimiento anual efectuado por el área de planeación de mantenimiento de acuerdo a las necesidades de la máquina y a la revisión con el área de producción.

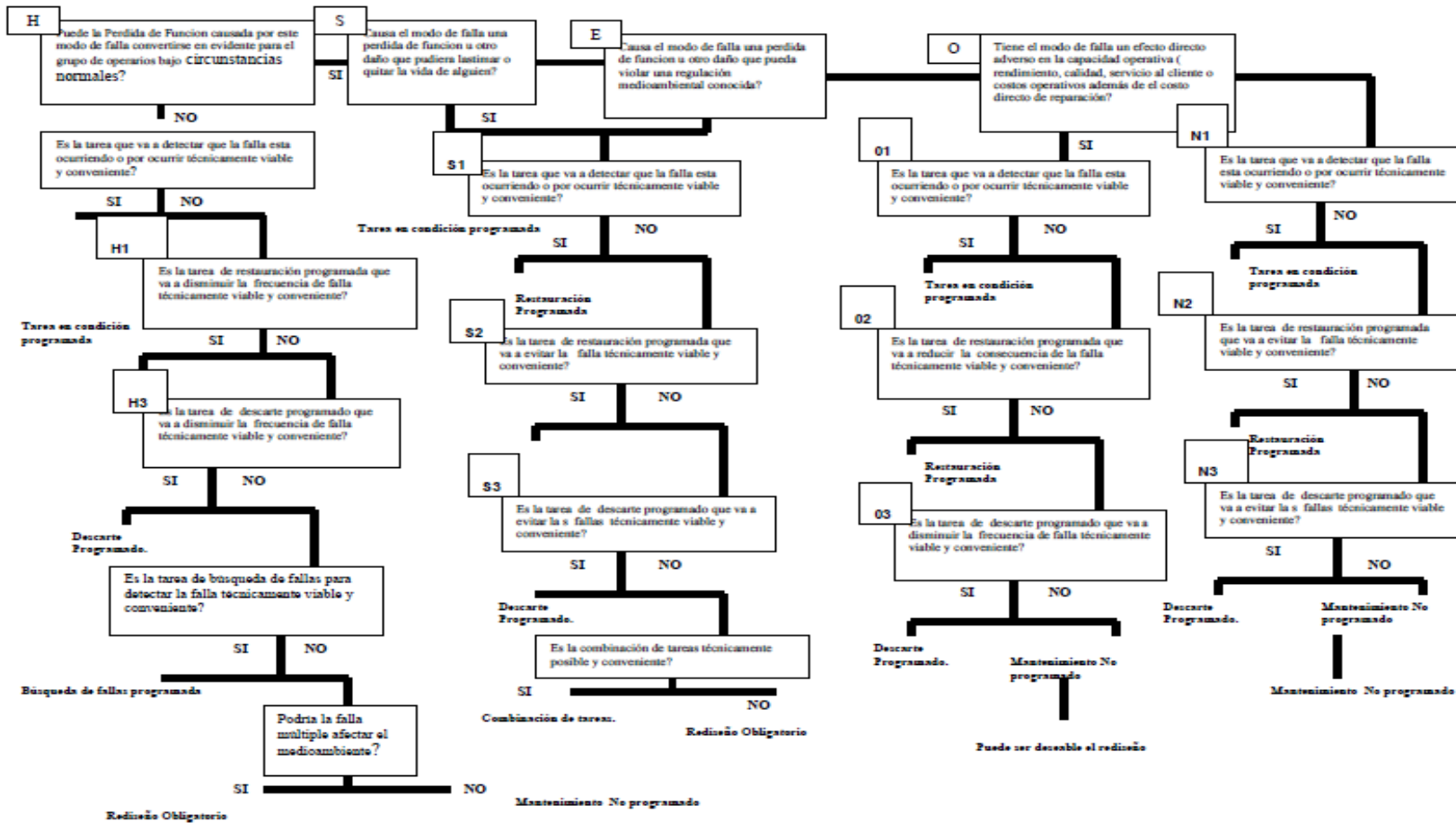
Por parte del área de predictivo se realizan también una serie de rutas de medición de vibraciones presentada en la siguiente ilustración, estas no serán modificadas ya que después de haber realizado un análisis a los tiempos perdidos de la línea estos elementos medidos mediante análisis de vibraciones no han demostrado tiempos perdidos relevantes dentro de los fallos históricos de la máquina.

Ilustración 6-Ruta de Vibraciones.



6.3.2 Diagrama de decisión RCM

Ilustración 7- Diagrama De Decisión RCM



(MOUBRAY, 2004)

La ilustración 7 muestra como mediante un diagrama de decisión se puede tomar una dirección para definir las tareas a realizar, ya sean de mantenimiento predictivo, preventivo o rediseños.

6.3.3 Hoja de decisión. Al aplicar el diagrama de decisión al sistema Gofraencola se obtuvo la siguiente hoja de decisión mostrada en la Tabla 18 donde se evidencian las tareas de mantenimiento a realizar adicionales a las que ya se ejecutan con su respectiva frecuencia, dependiendo del número de eventos presentados en el último año de trabajo de la rebobinadora.

Para los otros sistemas de la maquina se realizó el mismo procedimiento hasta llegar a su hoja de decisión, esta información se encuentra relacionada en la siguiente ilustración para cada uno de estos.

Ilustración 8-Diagrama de Decisión RCM

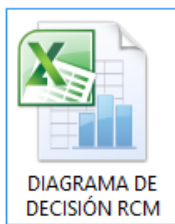
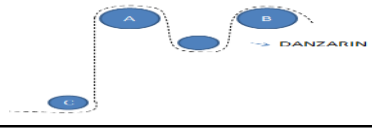
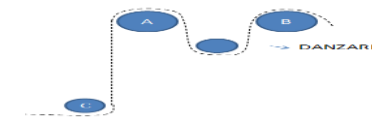
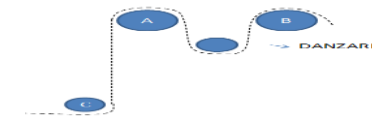


Tabla 18-Hoja Decisión RCM Gofraencola

HOJA DECISIÓN SISTEMA TUBERA											
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	H	S	E	O	H1-S1-O1-N1	H2-S2-O2-N2	H3-S3-O3-N3	TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	ESPECIALIDAD
FABRICAR TUBO DE CARTON PARA ENTREGAR A LA REBOBINADORA	FALLA 1	S	S	N	S	S			REVISIÓN Y/O CAMBIO ACCESORIOS NEUMATICOS	720 HORAS	INSTRUMENTACIÓN
	FALLA 5	S	N	N	S		S		REVISION DE PANTALLA Y CONEXIONES	720 HORAS	INSTRUMENTACIÓN
	FALLA 6	S	N	N	S		S		VERIFICACIÓN, ESTADO DE CABLES, TARJETAS Y FUENTES DE ALIMENTACIÓN	4380 HORAS	INSTRUMENTACIÓN
									LIMPIEZA DE CONECTORES CABLES DE COMUNICACIÓN	4380 HORAS	INSTRUMENTACIÓN
									REVISIÓN DE TEMPERATURA DE LOS EQUIPOS ELECTRONICOS < 28 °c	48 HORAS	INSTRUMENTACIÓN
	FALLA 7	N					S		VERIFICACIÓN, ESTADO DE CABLES, TARJETAS Y FUENTES DE ALIMENTACIÓN	720 HORAS	INSTRUMENTACIÓN
									LIMPIEZA DE CONECTORES CABLES DE COMUNICACIÓN	720 HORAS	INSTRUMENTACIÓN
									REVISIÓN DE TEMPERATURA DE LOS EQUIPOS ELECTRONICOS < 28 °c	720 HORAS	INSTRUMENTACIÓN
	FALLA 10	N					S		MANTENIMIENTO A CONTACTORES Y RELES	4380 HORAS	ELECTRICIDAD
	FALLA 12	S	N	N	S		S		VERIFICACIÓN, ESTADO DE CABLES, TARJETAS Y FUENTES DE ALIMENTACIÓN	4320 HORAS	INSTRUMENTACIÓN
									LIMPIEZA DE CONECTORES CABLES DE COMUNICACIÓN	4320 HORAS	INSTRUMENTACIÓN
									REVISIÓN DE TEMPERATURA DE LOS EQUIPOS ELECTRONICOS < 28 °c	4320 HORAS	INSTRUMENTACIÓN
	FALLA 14	S	N	N	S		S		LIMPIEZA DE POTENCIOMETROS, FOTOCELDAS Y SENSORES	2160 HORAS	INSTRUMENTACIÓN
									INSPECCIÓN DE ELEMENTOS PARA CAMBIO	2160 HORAS	INSTRUMENTACIÓN
	FALLA 18	S	N	N	S		S		REVISIÓN Y LIMPIEZA DE PULSADORES Y/O SELECTORES	4380 HORAS	ELECTRICIDAD
	FALLA 20	S							NO SE PUEDE REALIZAR TAREA DE MANTENIMIENTO DEBIO A QUE ES UNA PROTECCIÓN DE LOS EQUIPOS	-	-
	FALLA 21	S	N	N	S	S			REALIZAR RUTA DE VIBRACIONES	240 HORAS	PREDICTIVO
									REALIZAR RUTA DE RUIDOS	240 HORAS	MECANICA
									REALIZAR INSPECCIÓN GENERAL DE LOS EQUIPOS	240 HORAS	MECANICA
	FALLA 22	S	N	N	S		S		INSPECCIÓN DE ELEMENTOS DE FIJACIÓN	4380 HORAS	MECANICA
									APRIETE DE ELEMENTOS DE FIJACIÓN	4380 HORAS	MECANICA
	FALLA 23	S	N	N	S	S			REALIZAR RUTA DE VIBRACIONES	264 HORAS	PREDICTIVO
									REALIZAR RUTA DE RUIDOS	264 HORAS	MECANICA
									REALIZAR INSPECCIÓN GENERAL DE LOS EQUIPOS	264 HORAS	MECANICA
	FALLA 24	S	N	N	S		S		CAMBIO DE EMPAQUETADURA ELECTROVALVULA HIDRAULICA	4380 HORAS	INSTRUMENTACIÓN
									MICROFILTRACIÓN DE ACEITE UNIDAD HIDRAULICA	4380 HORAS	INSTRUMENTACIÓN
									MANTENIMIENTO GENERAL Y CAMBIO DE KIT DE DESGASTE ELECTRVALVULAS NEUMATICAS	4380 HORAS	INSTRUMENTACIÓN
									REVISIÓN DE AIRE LUBRICADO	4380 HORAS	INSTRUMENTACIÓN
	FALLA 25	S	N	N	S		S		VERIFICACIÓN, ESTADO DE CABLES, TARJETAS Y FUENTES DE ALIMENTACIÓN	264 HORAS	INSTRUMENTACIÓN
									LIMPIEZA DE CONECTORES CABLES DE COMUNICACIÓN	264 HORAS	INSTRUMENTACIÓN
									REVISIÓN DE TEMPERATURA DE LOS EQUIPOS ELECTRONICOS < 28 °c	264 HORAS	INSTRUMENTACIÓN

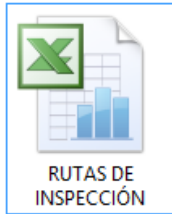
6.3.4 Ruta de inspección. De acuerdo con los elementos relacionados mediante los puntos anteriores y a las necesidades de implementar una rutina de inspección para evidenciar inicios de falla, se presentara la ruta de inspección de la Rebobinadora teniendo en cuenta los elementos que se pueden revisar con la maquina en movimiento y de los que requieren paro de máquina para su inspección, en la siguiente tabla se evidencia parte de la ruta de inspección para la maquina en movimiento.

Tabla 19- Ruta de inspección equipos en movimiento

RUTA DE INSPECCIÓN EQUIPOS EN MOVIMIENTO		FECHA: _____				
SUPERVISOR: _____		REALIZADO POR: _____				
EDESCR		RUDO	VIBRA	TEMP	FUGAS	OBSERVACIONES
DESENROLLADOR EXTERNO						
RODILLO DANZARIN						
RODILLOS GUIAS						
	A					
	B					
	C					
	D					
DESENROLLADOR INTERMEDIO						
RODILLO DANZARIN						
RODILLOS GUIAS						
	A					
	B					
	C					
	D					
RODILLO CURVO						
DESENROLLADOR INTERNO						
RODILLO DANZARIN						
RODILLOS GUIAS						
	A					
	B					
	C					
	D					
RODILLO CURVO						
RODILLOS GUIAS INFERIORES						

Las rutas de inspección se relacionan en la siguiente ilustración donde al oprimir Ctrl + clic se pueden observar estas.

Ilustración 9-Rutas de Inspección



6.4 CONCLUSIONES

Fue posible sacar una serie de acciones para aumentar el nivel de disponibilidad de la Rebobinadora de papel al generar una hoja de decisión para cada uno de los sistemas que la componen teniendo en cuenta elementos tales como el número de eventos, el tiempo perdido y los tiempos totales de paro durante el año por cada una de estas fallas.

7 CONCLUSIONES GENERALES

Es posible observar como mediante el uso de tácticas modernas de mantenimiento tales como los análisis de disponibilidad y el diagrama de decisión RCM y el PMO es posible diseñar un plan de mantenimiento para la Rebobinadora de papel a partir de una serie de datos históricos que se encargan de mostrarnos mediante su análisis las necesidades reales de la máquina y los hechos que conllevan a que áreas específicas de esta manejen una disponibilidad más baja afectándola toda en si debido, a que esta funciona como un sistema en serie donde cuando alguno de estos sistemas ocasiona un paro el resto de la maquina no puede continuar produciendo.

Se lograron evidenciar falencias en el uso del programa de tiempos perdidos utilizado por la compañía, esto debido a que la información que se presenta no conlleva a la ubicación de la falla en el sitio especifico, por lo que se recomienda que se subdivida cada uno de estos sistemas presentados de la manera en la que han quedado evidenciados en el capítulo 4 del presente trabajo, para de esta manera poder tomar decisiones y acciones más acertadas para el bien de la Rebobinadora y de la compañía.

Es necesario aumentar las tareas de mantenimiento preventivo, los fallos históricos del último año comprueban que de esta manera es posible disminuir tiempos perdidos, no solamente realzando tareas de cambios que puedes ser innecesarios pero si realizando trabajos de reacondicionamiento e inspección que conlleven a mantener la funcionalidad y operación de los ítems mantenibles, sus subsistemas y sistemas de la mejor manera posible.

BIBLIOGRAFÍA

- CÁRCEL CARRASCO, J. (2014). Planteamiento de un modelo de mantenimiento industrial basado en técnicas de gestión del conocimiento. Valencia, España: OmniaScience.
- GUTIERREZ MORA, A. (2012). *Mantenimiento industrial efectivo*. MEDELLIN: COLDI.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. (1996). *Normas colombianas para la presentación de trabajos de investigación*. Bogota: ICONTEC.
- KNEZEVIC, J. (1996). *Mantenimiento*. España: Isdefe.
- MOUBRAY, J. (2004). Mantenimiento centrado en confiabilidad. Argentina: Aladon ltd.
- NAVARRO ELOLA, L., PASTOR TEJEDOR, A. C., & MUGABURU, J. M. (1997). *Gestión integral de mantenimiento*. Barcelona: Marcombo.
- NEWBROUGH.E.T. (1982). Administración de mantenimiento industrial. Mexico: Diana.
- RELIABILITYWEB. (s.f.). *RELIABILITYWEB*. Recuperado el 29 de MARZO de 2016, de <http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/analisis-iso-14224-oreda/>
- REY SACRISTÁN, F. (1996). Hacia la excelencia en mantenimiento. Madrid: TPG HOSHIN.
- SECRETARIA DE ECONOMIA DE MEXICO. (21 de Mayo de 2009). Recuperado el 26 de Marzo de 2016, de <http://camaradelpapel.mx/pdf/Normas/NMX-N-092-SCFI-2008.pdf>
- synergeeringsol*. (s.f.). Recuperado el 28 de 04 de 2016, de <http://www.synergeeringsol.com/analisis-cmd.html>